第47卷 第10期
2024年10月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 47 No. 10
Oct. 2024

南疆县域生态-经济协调性评估及可持续发展分区

施金里[1]， 徐丽萍[1,2]， 李晓航[1]， 高志玉[1]， 席芸芸[1]， 李智慧[1]

（1. 石河子大学理学院，新疆 石河子 832003；2. 绿洲城镇与山盆系统生态兵团重点实验室，
新疆 石河子 832003）

摘 要：基于当量因子法估算2000—2020年南疆地区生态系统服务价值（Ecosystem services value，ESV），应用生态-经济协调度（Ecological-economic harmony，EEH）模型从县域尺度分析南疆地区生态-经济发展协调水平及其空间分布特征，最后通过生态贡献率模型揭示各县域ESV变化主要贡献因子，并结合其ESV损益状况和生态-经济协调水平进行差异化的可持续发展分区。结果表明：（1）2000—2020年南疆地区ESV整体呈先上升后下降趋势，总量缩减167.99×10^{8}元；草地和水体的ESV占总量的70%以上，单项ESV调节服务（57.1%）>支持服务（27.5%）>文化服务（10.0%）>供给服务（5.4%）；草地和农田是多数ESV实现增益（减损）县域的主导地类。（2）2000—2020年南疆地区37个县域ESV均有不同程度减损，ESV实现增益县域共计9个；约80%的县域为生态-经济初始恶化区，其余县域表现为生态-经济协调稳定状态。（3）南疆地区整体呈轻度生态-经济不协调状态，少数生态-经济协调稳定县域主要分布于南疆中、东部地区。综合分析将南疆县域划分为林草生态-经济不可持续区、农田生态-经济不可持续区、水体生态-经济不可持续区、林草生态-经济持续稳定区和农田生态-经济持续稳定区5种类型。

关 键 词：生态系统服务价值；生态-经济协调性；EEH模型；可持续发展分区

文章编号：1000-6060(2024)10-1794-11(1794~1804)

近20 a来，新疆经济取得了长足进步。然而社会经济的快速发展给生态环境带来了负面影响，如空气污染、生态退化和过量碳排放等。为此，政府提出了高质量发展的目标，旨在经济发展的同时，兼顾人类福祉和生态健康[1]。在此背景下，研究区域经济系统与生态环境之间的协调关系，进而探讨可持续发展分区，具有重要的学术和现实意义。

生态与经济的协调发展是在区域发展过程中生态子系统和经济子系统各自内部要素间相互配合，并且2个子系统间保持互惠共生的关系，二者相互促进、共同发展，从而使区域整体利益不断提高的发展状态[2]。构建生态文明与经济建设协调发展的长效机制是可持续发展的核心内容[3]。目前，国内外学者对于生态-经济协调发展的研究主要集中在以下几个方面：（1）生态-经济协调发展评价类研究，通过集成不同功能的效用函数和综合评价方法构建评价指标体系，探讨生态与经济协调发展程度、内部作用关系以及空间演化规律等[4-6]。（2）生态-经济协调发展实证类研究包括构建各类系统科学模型进行区域性特征描述[7-8]、定量分析[9]或根据实验样区结果分析对模型本身进行适用性和科学性的验证[10]。（3）生态-经济协调发展衍生类研究包括情景模拟预测分析[11]，探讨工业、农业、旅游等产业与生态环境的协调程度或耦合态势[12-13]。生态系统服务价值（Ecosystem services value，ESV）用来评价区域生态系统为人类服务的潜力，ESV的评估不仅是区域生态环境评价的基础[14]，而且明确ESV有助于社会在存在权衡的诸多情况下做出更好

收稿日期：2023-12-29； **修订日期**：2024-03-10

基金项目：国家社科青年基金项目"兵团生态资产核算及综合补偿机制研究"（21CGL008）；兵团科技计划项目"基于多源异构数据的兵团生态安全诊断评价"（2023CB008-23）资助

作者简介：施金里（1999-），男，硕士研究生，主要从事资源环境与可持续发展研究. E-mail: sjl20222018022@163.com

通讯作者：徐丽萍（1978-），女，博士，教授，主要从事资源管理与景观生态学研究. E-mail: xlpalw@163.com

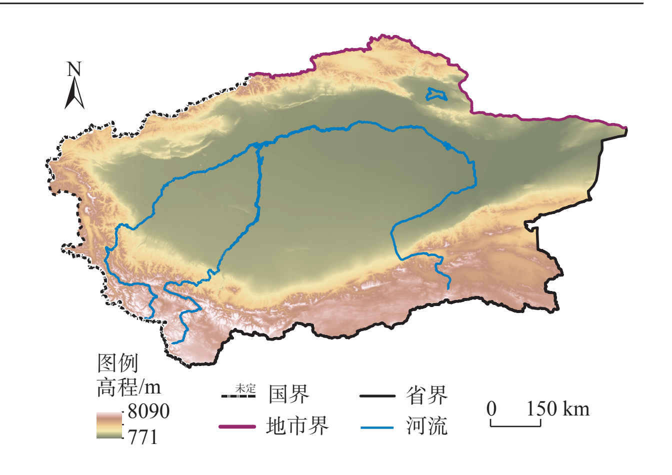
决策[15]。使用价值当量因子法对ESV评估的最终结果以货币为表达形式[16]，其与国内生产总值(Gross domestic product，GDP)具有较强的可比性，因此有学者利用研究期内单位面积ESV变化率与单位面积GDP变化率之比构建生态-经济协调度(Ecological-economic harmony，EEH)模型，该模型可以较好地反映生态环境变化和经济发展间相互影响、相互制约或协同的程度[17]。前人对于EEH模型的应用主要集中在判断区域生态-经济相互关系[18]，探究生态-经济协调关系的空间分布格局和演化进程[6,17]，分析关系成因、驱动力或因果扰动[19]；研究热点区域主要集中在生态资产本底发达区、热点流域、经济区以及特定规模城市[20-21]。南疆地区是我国向西开放的重要门户，也是"丝绸之路经济带"生态屏障的重要节点，该地区为典型的内陆干旱区，荒漠化严重、生态承载能力较弱、社会经济发展滞后，落实"两山"转化、化解社会发展与生态环境保护之间日益突出的矛盾、实现区域可持续发展等问题亟待解决[22]。

综合来看，目前针对南疆地区的生态-经济协调性分析相对较少[23]，更是缺乏从县域这一层面结合社会-经济-自然复合系统的可持续发展分区研究。因此本文基于当量因子法测算2000—2020年南疆地区ESV并通过区域差异系数、社会发展修正系数对其进行修正，从县域尺度分析区域ESV损益状况，探讨南疆地区生态环境变化特征；进而采用EEH模型探究南疆县域经济发展与生态环境协调状态；最后，利用生态贡献率模型判断影响县域ESV变化的主导因子[24]并结合县域ESV损益状况、生态-经济协调水平，以地类承载为基底，对南疆县域进行差异化的可持续发展分区，以期为决策部门实施绿色可持续发展的规划管理提供定量参考依据和科学支撑。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

南疆地区指新疆维吾尔自治区天山以南的地区，区域内有中国最大的盆地塔里木盆地，最大的沙漠塔克拉玛干沙漠和最长的内陆河塔里木河(图1)。行政区划包括巴音郭楞蒙古自治州(巴州)、克孜勒苏柯尔克孜自治州(克州)、和田地区、阿克苏



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图1　研究区示意图

Fig. 1　Schematic diagram of the study area

地区、喀什地区以及阿拉尔市、铁门关市、昆玉市、图木舒克市4个新疆生产建设兵团管理城市(以下归为县域)，总面积106×10⁴ km²，占全疆面积63.67%；其中绿洲区8×10⁴ km²，冰雪覆盖区域和荒漠面积常年占据区域总面积的3/4；2020年区域GDP总量达4.27×10¹¹元，仅为全疆GDP总量的30.94%。南疆地区深处内陆，海洋气流被高山阻断，属典型的温带大陆性干旱气候，冬季漫长严寒，夏季干燥少雨，区域年均降水量17.4~42.8 mm，年平均气温10.7 ℃，降雨稀少且降水空间分布极不均，面临土壤盐渍化、荒漠化等一系列生态问题，区域生态环境非常脆弱，加之人类活动干扰，生态承载力负荷较重，对区域实现高质量绿色可持续发展要求极为迫切。

1.2　数据来源与处理

本文所需数据主要有：(1)土地利用数据包括2000、2005、2010、2015年和2020年共5期数据，分辨率为30 m，由中国科学院资源环境科学数据中心提供(https://www.resdc.cn/)。数据以Landsat遥感影像作为主要信息源，通过人工目视解译获得，解译精度高达90%以上，该数据将土地利用类型划分为6个一级地类和25个二级地类。利用ArcMap掩膜提取工具进行研究区数据提取，使用重分类工具将数据的初始二级地类合并为研究所需的一级地类，包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6大类。(2)统计数据：粮食耕种面积、GDP数据、人口数据、恩格尔系数来源于2001—2021年相应年份的

《新疆统计年鉴》《新疆生产建设兵团统计年鉴》和《中国统计年鉴》；新疆粮食市场价格数据来源于2001—2021年相应年份的《全国农产品成本收益资料汇编》；气象数据来源于2001—2021年相应年份的《中国气象年鉴》。

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务价值核算 本文采用当量因子法对南疆地区生态系统服务价值进行核算，当量因子表参考谢高地学者2007年研究成果[25]，该成果调查问卷回收率最高，具有较高科学性和可信度[26]。在该方法中，一个生态服务价值当量因子的经济价值等同为区域单位面积粮食平均单产市价的1/7[27]，在对南疆地区作物种植状况的考量下，选取玉米、小麦、水稻3种基础性粮食作物播种面积和单位产值，计算得出2000—2020年南疆地区粮食单位面积产量为6216.3 kg·hm^{-2}，2020年新疆平均粮食价格为2.53元·kg^{-1}，南疆地区一个ESV当量因子为2246.75元·hm^{-2}。

不同地区的生态环境、生物多样性以及由社会经济水平差异引起的生态系统功能支付意愿都会影响区域ESV的大小[28]。因此，本文采用刘倩等[29]在基于修正系数对青龙县ESV研究中使用的以净初级生产力代替生物量的区域差异修正系数，以及基于传统经济学理论的社会发展修正系数的计算方法。计算得出南疆地区区域差异系数为0.136，各年份社会发展修正系数见表1。

表1 2000—2020年南疆地区社会发展修正系数

Tab. 1 Correction coefficient of social development in southern Xinjiang from 2000 to 2020

年份	南疆综合发展系数	全国综合发展系数	社会发展修正系数
2000	0.33	0.32	1.03
2005	0.38	0.36	1.06
2010	0.39	0.41	0.97
2015	0.51	0.55	0.92
2020	0.54	0.57	0.94

综上所述，南疆地区ESV计算公式为：

$$ESV_y = NQ_y \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} A_i E_{ij} F_a \tag{1}$$

$$Q_y = \frac{l'_{南疆地区}}{l'_{全国平均}} \tag{2}$$

$$l' = l_1 W_1 + l_2 W_2 \tag{3}$$

$$l = \frac{L}{1 + e^{-(1/E_n - 3)}} \tag{4}$$

式中：ESV_y为南疆地区y年的生态服务价值总量（10^{8}元）；F_a为一个标准单位当量因子的价值（元·hm^{-2}）；A_i为各类土地利用类型面积（hm^2）；E_{ij}为i类土地利用类型的j种生态系统服务功能价值当量系数；N为区域差异修正系数；Q_y为y年份社会发展修正系数；l'为区域社会发展系数，其由式(3)计算可得；l_1和l_2分别为城镇社会发展系数和农村社会发展系数；W_1和W_2分别为城镇人口占比和农村人口占比；l为社会发展系数，由式(4)计算可得；L为极富条件下的支付意愿，通常取值为1[30]；e为自然常数；E_n为恩格尔系数。

1.3.2 敏感性分析 为了确定ESV的准确性以及对等效因子的依赖关系，在参考相关文献后，本文选择使用经济学中常用于计算敏感性指数的弹性系数概念[31]。利用弹性系数通过对各类ESV当量增加或减少50%，以分析ESV对当量系数的敏感性，计算公式见式(5)：

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i)/ESV_i}{(E_{kj} - E_{ki})/E_{ki}} \right| \tag{5}$$

式中：CS为敏感性指数；ESV_j和ESV_i分别为调整前和调整后的ESV总量（10^{8}元）；E_{kj}和E_{ki}分别为调整前和调整后的ESV的当量系数；j和i分别为调整前和调整后；k为不同土地利用类型。

1.3.3 生态-经济协调性分析 目前，生态和经济系统的协调发展没有统一标准，因此EEH也是一个相对指标，可以定量反映区域生态状况与经济发展的协调程度[32]。本文以县域单位面ESV和单位面积GDP变化率的比值作为参考指标进行分析，该比值可展现环境变化和经济发展过程中二者相互作用、相互制约和影响的程度[17]，计算公式为：

$$EEH = \frac{ESV_t}{GDP_t} = \frac{(ESV_{td} - ESV_{tc})/ESV_{tc}}{(GDP_{td} - GDP_{tc})/GDP_{tc}} \tag{6}$$

式中：EEH为生态-经济协调度；ESV_t和GDP_t分别为单位面积ESV和单位面积GDP的变化率；ESV_{td}、GDP_{td}为末期单位面积ESV和末期单位面积GDP（元·hm^{-2}）；ESV_{tc}和GDP_{tc}为初期单位面积ESV和初期单位面积GDP（元·hm^{-2}）。由于EEH表现为研究时期内区域经济发展与生态环境演变态势，基于现实情况，将EEH计算结果划分为5种类型（表2）。

1.3.4　生态贡献率　为了判断某一时期不同土地利用方式对ESV的影响程度，基于各地类在ESV变化量中所占比例，来揭示影响区域ESV变化的主要贡献因子[24]，该贡献因子在本文中被描述为引起ESV变化的主导地类，计算公式见式(7)：

$$EA = \frac{EA_{ib} - EA_{ia}}{EA_b - EA_a} \times 100\% \quad (7)$$

式中：EA为各地类生态系统服务总价值变化的贡献度；EA_{ib}和EA_b为区域内末期地类ESV和末期生态系统服务总价值(10^8元)；EA_{ia}和EA_a为区域内初期地类ESV和初期生态系统服务总价值(10^8元)。

1.3.5　南疆县域可持续发展分区　依据南疆地区县域各地类的生态贡献率，以确定县域ESV实现增益(减损)的主导地类，某地类贡献率大于10%记入，以此排序确定县域ESV实现增益(减损)的主导地类，并结合县域ESV损益状况和生态-经济协调水平进行差异化的可持续发展分区，将南疆县域划分为12个组合形成的5种类型(表3)。林、水、草、农代表主导县域ESV实现增益(减损)的地类，+、-分别代表县域生态-经济协调状态。针对不同的可持续发展分区分别提出了差异化提升路径，包括生态资源利用管理、生态补偿、生态修复等措施。

表2　生态-经济协调度(EEH)划分标准[17]

Tab. 2　Ecological-economic harmony (EEH) degree division standard[17]

类型	范围	说明
持续恶化区(-)	EEH<-1.0	区域生态环境恶化，经济发展与生境保护冲突，经济与生态环境发展严重不协调
初始恶化区(-)	-1.0≤EEH<0.0	区域经济发展对生态环境产生负面影响，经济发展与生态环境呈不协调状态
协调稳定区(+)	0.0≤EEH<0.6或EEH≥1.2	伴随经济增长区域生态环境可能正在承受越来越大的压力，或原本区域经济、生态环境都处于较低水平，经发展二者逐渐处于协调状态
初始稳定区(+)	0.6≤EEH<1.0	经济增速略高于区域生境质量发展水平，经济与生态环境处于协调状态
持续稳定区(+)	1.0≤EEH<1.2	ESV增速大于等于GDP增速，区域生态环境与经济发展间呈现出相互促进，高度协调发展状态

注："+""-"分别表示生态-经济协调状态为协调状态、不协调状态。下同。

表3　南疆县域可持续发展分区划分方法

Tab. 3　Division method of county sustainable development zoning in southern Xinjiang

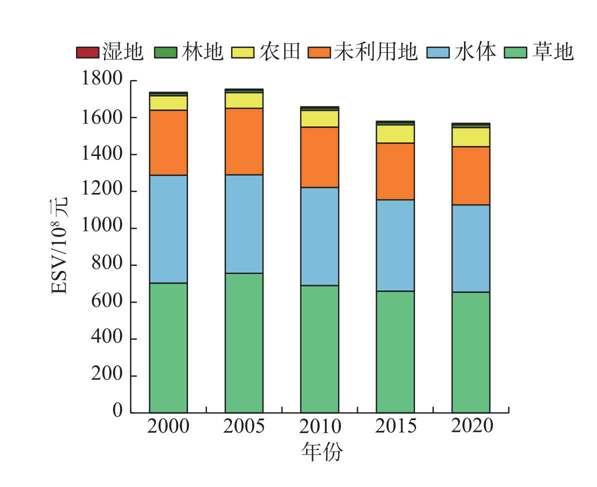
类型名称	类型组成	描述
林草生态-经济不可持续区	林地型(-)、草地型(-)、草湿型(-)、草水型(-)	以草地和林地为ESV减损主导地类的生态-经济恶化型县域
林草生态-经济稳定区	林水型(+)、草水型(+)	以草地和林地为ESV增益主导地类的生态-经济协调型县域
农田生态-经济不可持续区	农草型(-)、农水型(-)	以农田为ESV减损主导地类的生态-经济恶化型县域
农田生态-经济稳定区	农田型(+)、农草型(+)、农水型(+)	以农田为ESV增益主导地类的生态-经济协调型县域
水体生态-经济不可持续区	水体型(-)	以水体为ESV减损主导地类的生态-经济恶化型县域

2　结果与分析

2.1　南疆地区ESV核算及其变化分析

2000—2020年南疆地区ESV呈先增加后减少的变化趋势，总量缩减167.99×10^8元(图2)。其中2000—2005年为增长期，南疆地区ESV总量由2000年的1737.14×10^8元增长至2005年的最高值1754.40×10^8元，总量增加17.26×10^8元(0.99%)；2005—2020年间，南疆地区ESV总量有所回落，共下降185.25×10^8元(10.56%)。

2000—2020年各土地类型ESV依次排序为：草地>水体>未利用地>农田>林地>湿地。其中南疆地区ESV总量以草地和水体ESV为主体，草地占比最



注：ESV为生态系统服务价值。下同。

图2　2000—2020年南疆地区各土地类型生态系统服务价值

Fig. 2　Composition of ecosystem service values by land types in southern Xinjiang from 2000 to 2020

高，占ESV总量40%以上，水体次之，占ESV总量30%以上。2000—2020年草地和未利用地ESV的变化趋势与区域ESV总量变化趋势保持一致；农田ESV增长最多，增速最快，研究期间农田ESV由77.84×10^8元持续增长至103.82×10^8元(33.38%)；水体ESV减少最多、缩减最快，共减少112.24×10^8元(19.24%)。2000—2020年南疆地区单项ESV均有不同程度缩减，调节服务价值持续降低，期间共减少112.96×10^8元，其余服务价值呈波动下降趋势(图3)。单项ESV排序为：调节服务(57.1%)>支持服务(27.5%)>文化服务(10.0%)>供给服务(5.4%)。调节服务价值主要来源于水体和草地，其中水体提供的调节服务价值平均占比达42%以上；支持服务价值主要由草地提供，草地的支持服务价值平均占比约52%，文化服务价值主要由未利用地提供；供给服务价值主要来源于草地和农田，草地提供的供给服务价值平均占比达50%以上；农田所提供的供给服务价值逐年上升，平均占比约为20%。

2.2 敏感性分析

各土地利用类型的敏感性指数均小于1(表4)，说明核算结果对ESV的当量因子没有弹性，即核算结果可信。结果表明，南疆地区草地敏感性指数最大(>0.405)，其次为水体(>0.301)、未利用地(>0.194)、农田(>0.045)、林地(>0.007)，湿地敏感性指数最小(<0.007)。因此，相比于其他土地利用类型，如果对草地等效系数进行调整，区域ESV将出现较为显著的变化，同理，如果对湿地进行系数调整，则区域ESV只会发生轻微变化。

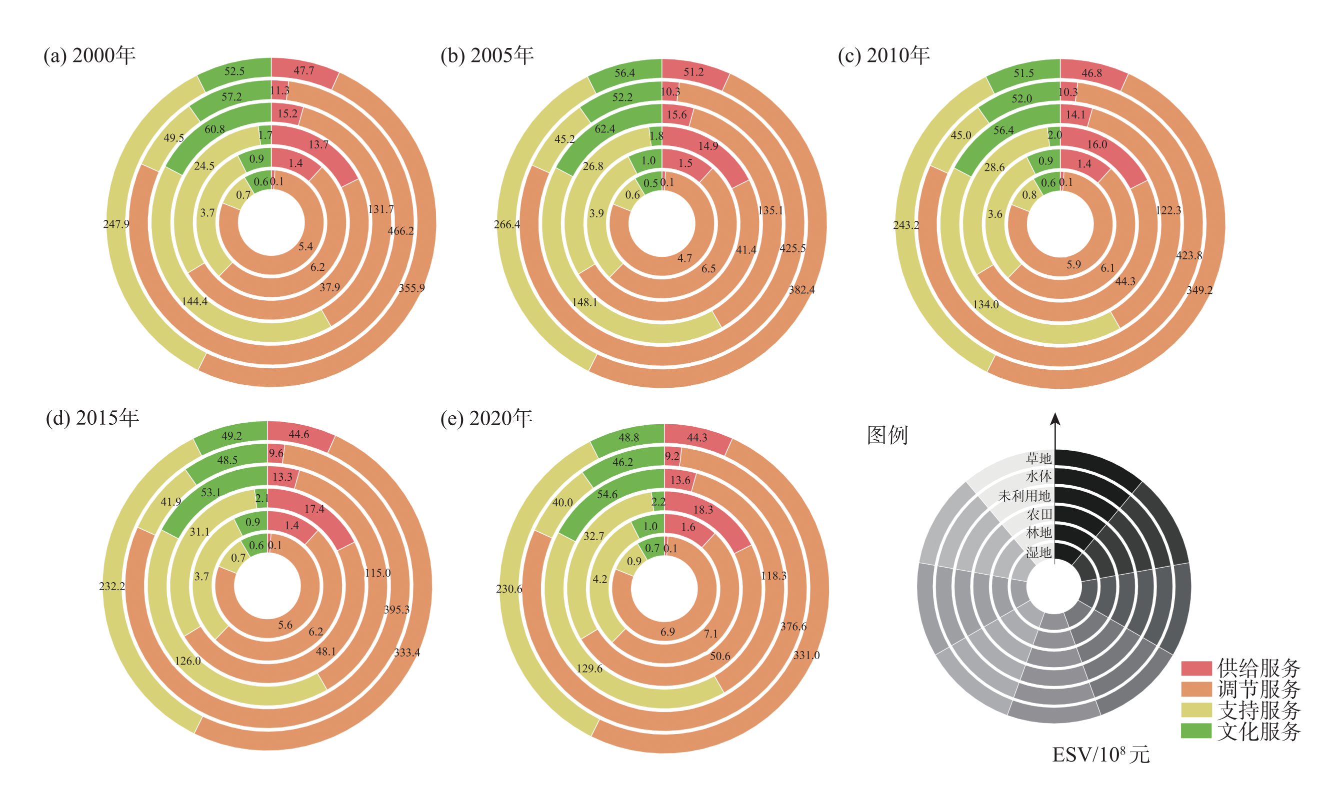


图3 南疆地区单项生态系统服务价值变化

Fig. 3 Changes in the values of individual ecosystem services in southern Xinjiang

表4 南疆地区不同土地利用类型敏感指数

Tab. 4 Sensitivity index of different land use types in southern Xinjiang

年份	林地	草地	农田	湿地	水体	未利用地
2000	0.007	0.405	0.045	0.004	0.336	0.203
2005	0.007	0.431	0.048	0.003	0.304	0.206
2010	0.007	0.416	0.055	0.004	0.320	0.197
2015	0.008	0.417	0.062	0.004	0.313	0.194
2020	0.009	0.417	0.066	0.007	0.301	0.201

2.3　南疆地区生态-经济协调性分析

2000—2020年南疆地区呈轻度生态-经济不协调状态(-0.0095),全域可被划分为生态-经济初始恶化区(表5)。2000—2005年南疆地区呈生态-经济较低水平的协调稳定状态(0.0119),该时段内区域经济水平较低、规模较小,社会发展对于生态环境的干扰程度也较为有限;2005—2010年南疆地区生态-经济协调度较低(-0.0477),但随着区域经济增速放缓以及环境保护制度的推出和实行,在2010—2015年和2015—2020年区域生态-经济不协调状态逐步改善,2015—2020年南疆地区生态-经济协调度为-0.0184。

表5　南疆地区生态-经济协调度(EEH)测算结果

Tab. 5　Results of ecological-economic harmony (EEH) measurement in southern Xinjiang

年份	2000—2005年	2005—2010年	2010—2015年	2015—2020年	2000—2020年
EEH	0.0119	-0.0477	-0.0445	-0.0184	-0.0095
协调类型	协调稳定	初始恶化	初始恶化	初始恶化	初始恶化

2.4　南疆县域生态系统服务价值损益分析

为了对南疆地区ESV损益进行充分表达,本文分析南疆地区县域ESV损益状况,保证研究单元信息完整性的同时凸显南疆地区ESV损益空间差异性。使用当量因子法评估县域ESV,其值在一定程度上依赖于县域面积大小,县域面积的差异会造成县域ESV变化量的巨大差异,对评价县域ESV的损益程度产生影响[30],因此本文使用单位面积ESV更能体现出县域生态系统质量变化的优劣程度,以更精准地分析其生态系统服务损益状况。

2000—2020年南疆地区37个县域ESV有所减少(图4),从空间分布特征来看,ESV中、高度减损县域分布于南疆地区西部和北部,其中阿合奇县单位面积ESV减损最多(-6587.89元·hm^{-2});和静县、博湖县、乌恰县、塔什库尔干塔吉克族自治县以及昆玉市单位面积ESV呈中度减损(-726.49~-367.20元·hm^{-2});单位面积ESV低度减损(-294.36~0元·hm^{-2})县域达31个(67%),表明在研究期内,南疆地区多数县域生境状态较为稳定,但呈逐步恶化趋势;单位面积ESV增益县域(0~356.38元·hm^{-2})主要分布在南疆中东部地区,共计9个县域,其多为林草生态系统显著改善或本底发达地区。

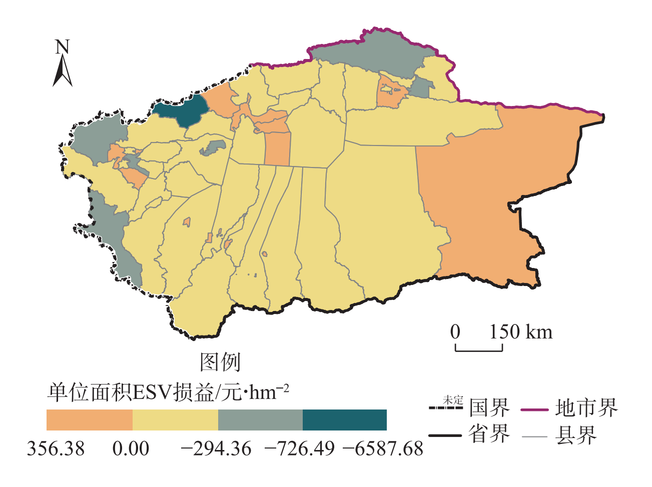


图4　南疆县域单位面积生态系统服务价值损益

Fig. 4　Ecosystem service value gain/loss per unit area in counties of southern Xinjiang

2.5　南疆县域生态-经济协调性分析

南疆各区县EEH在(-0.0356~0.0115)之间(表6),可见2000—2020年各区县经济增速远大于生态环境的变化程度,各区县均呈现出轻度生态-经济协调(恶化)的状态。其中库尔勒市的EEH最高为0.0115,阿合奇县最低为-0.0356,80%的区县为生态-经济初始恶化区,南疆多数地区经济发展与生态环境维护间存在一定矛盾,区域生态环境压力较大。

南疆县域可划分为生态-经济初始恶化区(-)和协调稳定区(+)两类,从EEH的空间分布看(图5),生态-经济协调稳定区与ESV增益县域位置趋同,主要分布在区域中、东部地区;生态-经济初始恶化县域数量较多,且无明显空间分布特征。

2.6　南疆县域可持续发展分区结果

本文结合2000—2020年南疆地区县域ESV损益状况、生态-经济协调类型和主导县域ESV变化地类,将南疆县域划分为5类可持续发展区(图5)。第一类为林草生态-经济不可持续区:该类型县域数量最多,主要分布于南疆地区中、西部,包括墨玉县、且末县、拜城县等共计32个县域。第二类为林草生态-经济稳定区:该类型县域分布于南疆地区北部和西南部,包括和田市和乌什县。第三类为农田生态-经济不可持续区:该类型县域集中分布于

表6 南疆县域生态-经济协调度(EEH)测算结果

Tab. 6 Measurement results of county ecological-economic harmony (EEH) in southern Xinjiang

地州(兵团)	区县	EEH	地州(兵团)	区县	EEH
巴音郭楞蒙古自治州	库尔勒市	0.0115	阿克苏地区	阿克苏市	0.0083
	轮台县	−0.0029		库车市	−0.0048
	尉犁县	−0.0082		温宿县	−0.0017
	若羌县	0.0009		沙雅县	−0.0198
	且末县	−0.0011		新和县	−0.0039
	和硕县	−0.0096		拜城县	−0.0008
	博湖县	−0.0182		乌什县	0.0002
	焉耆回族自治县	−0.0118		阿瓦提县	−0.0065
	和静县	−0.0105		柯坪县	−0.0022
和田地区	和田市	0.0006	喀什地区	喀什市	−0.0001
	和田县	−0.0051		疏附县	0.0064
	墨玉县	−0.0033		疏勒县	−0.0085
	皮山县	−0.0023		英吉沙县	0.0084
	洛浦县	−0.0035		泽普县	−0.0091
	策勒县	−0.0043		莎车县	−0.0065
	于田县	−0.0062		叶城县	−0.0043
	民丰县	−0.0016		麦盖提县	−0.0108
克孜勒苏柯尔克孜自治州	阿图什市	−0.0044		岳普湖县	−0.0079
	阿克陶县	−0.0037		伽师县	−0.0091
	阿合奇县	−0.0356		巴楚县	−0.0087
	乌恰县	−0.0043		塔什库尔干塔吉克自治县	−0.0029
阿拉尔市	阿拉尔市	0.0003	图木舒克市	图木舒克市	−0.0056
铁门关市	铁门关市	−0.0151	昆玉市	昆玉市	0.0017

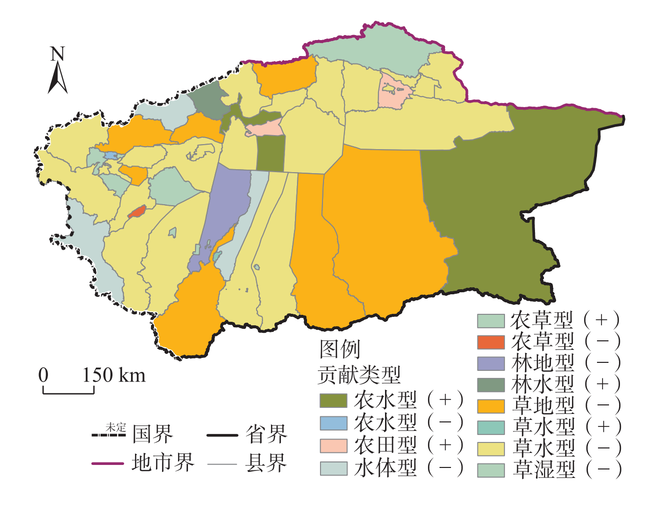


图5 南疆县域可持续发展分区

Fig. 5 Clustering distribution of sustainable development optimization paths in counties of southern Xinjiang

南疆地区西部的喀什地区,包括喀什市和泽普县。第四类为农田生态-经济稳定区:该类型县域主要包括疏附县、英吉沙县、库尔勒市、若羌县等共计7个县域。第五类为水体生态-经济不可持续区:该类型县域分布于南疆地区西部,包括阿合奇县、洛浦县以及塔什库尔干塔吉克自治县。

3 讨论与结论

3.1 讨论

生态系统服务是人类福祉与自然环境之间交互耦合的纽带,其已经成为当下人地关系和绿色发展研究领域的重要议题。生态系统服务价值核算将自然资源和生态学的问题转化为易于公众解读的指标;GDP可以有效衡量区域范围内社会运行状况和经济发展程度,二者的结合可在区域生境管理和生态决策优化的过程中发挥巨大作用。因此,首先须保证生态系统服务价值评估的精准性和时效性。现有关于新疆生态系统服务价值核算的研究中,当量因子计算多采用2018年粮食均价1.98元·kg^{-1}[32-33],本文所选粮食均价为2020年新疆玉米、小麦、粳稻粮食均价2.53元·kg^{-1},具有更强的时效性;在区域修正因子选取时,本文选取地州和兵团的自然、粮

食、经济数据逐步进行修正,使得估算结果更加准确合理。在区域经济始终保持增长的客观背景下,EEH模型同时反映南疆地区生态经济二者变化速度的一致性和区域生态经济管理效率水平[17]。通过量化评估揭示生态与经济系统之间的内在联系和动态平衡,进而实行的可持续发展区域划分能够明确不同区域的功能定位和发展方向,有助于资源优化配置和生态环境保护。

从研究结果来看,本文核算的南疆地区ESV与马丽娜等[34]、王希义等[35]、马依拉·热合曼等[36]对新疆全域、和田河流域、渭库绿洲ESV研究结果趋同,研究期内ESV总量整体呈下降趋势。祖皮艳木·买买提等[37]研究表明1985—2011年焉耆盆地的环境与经济协调发展总体上处于低度冲突和低度协调水平的状态,与本文研究结果一致;熊传合等[38]、程晓瑜等[23]对新疆生态经济系统可持续发展、新疆南疆4地州可持续经济规模问题开展研究,其与本文一致,认为南疆地区生态环境和生态经济系统可持续发展仍面临挑战。

3.2 结论

(1) 2000—2020年,南疆地区生态系统服务价值整体缩减,呈先上升后下降趋势,草地和水体提供南疆地区生态系统服务价值70%以上;草地、水体、未利用地生态系统服务价值整体减损,农田、湿地、林地生态系统服务价值实现增益,单项生态系统服务价值中调节服务价值最高;南疆地区整体呈轻度生态-经济不协调状态。

(2) 2000—2020年,南疆多数县域生态系统服务价值均有不同程度减损,生态系统服务价值增益县域主要分布于南疆中东部地区;80%的县域为生态-经济初始恶化区,其余县域表现为生态-经济协调稳定状态。

(3) 草地和农田是南疆县域生态系统服务价值实现增益(减损)的主导地类;南疆县域可划分为林草生态-经济不可持续区、农田生态-经济不可持续区、水体生态-经济不可持续区、林草生态-经济持续稳定区以及农田生态-经济稳定区。

3.3 建议

针对本研究划分的5种不同类型可持续发展分区提出以下建议:

(1) 林草生态-经济不可持续区应在社会经济发展和城市扩张中兼顾草地修复与治理,在实施禁牧、退牧监管等有效措施的同时完善并落实好草原、林地生态补偿机制,加强已有牧、耕地利用效率,加大对天然草地保护和改良的资金技术支持,必要时可缩减草畜平衡管理区扩充禁牧区,以全力恢复草原生态环境,提高区域生态质量效益。农田生态-经济不可持续区应在保护基本农田、提升现有农田产量和生产效率的基础上适当加强草地和水体等资源的管理和保护,进一步摸清耕地资源和生态环境底线,提升区域生态质量,巩固生态安全,以实现区域生态-经济协调可持续发展。

(2) 林草生态-经济稳定区应持续加强天然林草地保护,坚持以草地、灌木为主,林地为辅的自然植被恢复方针,尽可能增加自然植被面积。政府部门需合理控制耕地规模,积极管理和调整绿洲土地利用,进一步培养建设相关生态景观旅游产业实现区域生态资产持续增值,在发展区域经济、巩固生态保护成果的同时,要适当开展荒漠治理,加强治沙防沙工作。农田生态-经济稳定区要充分利用生态环境优势,调整产业结构、适当控制农田种植开发规模,加强已有绿色有机农业技术投资,改进农业生产率;提高水资源利用效率,着力发展生态农业、旅游农业等项目,尽可能实现高能耗、高污染的产业转移,提升区域生态环境竞争力。

(3) 水体生态-经济不可持续区一方面要保护现有湖泊、径流水体,面对干旱区气温升高引起冰川消融径流量增加的短期利好情形时,必须优化区域水资源利用效率,在科学规划水资源利用的前提下进行产业布局和生产活动扩张;另一方面,要警惕域内冰川缩减引起的水储量赤字,从水资源储量、开发利用情况、配置情况和利用效率等方面提前做好绿洲可持续发展的风险预警预测以做出应对,减缓水资源变化对地区的影响。在未来的发展中应着重加强水体环境保护,合理开发水草资源,以实现未来区域人居环境和谐、可持续化。

参考文献(References)

[1] 余焕, 雷敏, 马金晶, 等. 基于绿色GDP和生态效率的区域可持续发展研究——以陕西省为例[J]. 干旱区地理, 2023, 46(2): 284-293. [Yu Huan, Lei Min, Ma Jinjing, et al. Regional sustainable development based on green GDP and ecological efficiency: A case of Shaanxi Province[J]. Arid Land geography, 2023, 46(2): 284-293.]

[2] Wang X Y, Huang Y P, Wu W S, et al. Building a greener future: Understanding the spatial effects of eco-economic coordination in Beijing-Tianjin-Hebei regions[J]. Ecological Indicators, 2023, 156: 111125, doi: 10.1016/j.ecolind.2023.111125.

[3] 谢海燕, 贾彦鹏, 杨春平. 生态文明与经济建设协调发展的实现路径[J]. 宏观经济管理, 2020(5): 30−36. [Xie Haiyan, Jia Yanpeng, Yang Chunping. The path to realize the coordinated development of ecological civilization and economic construction[J]. Macroeconomic Management, 2020(5): 30−36.]

[4] 张凯, 余国新, 齐子漫. 西北干旱区农业"生态—经济—服务"协调发展研究[J]. 生态经济, 2022, 38(1): 108−115. [Zhang Kai, Yu Guoxin, Qi Ziman. Study on the coordinated development of agricultural "ecology-economy-service" in arid area of northwest China[J]. Ecological Economy, 2022, 38(1): 108−115.]

[5] 张芳, 段汉明, 张婷. 北疆城镇区域社会经济与绿洲生态系统协调发展评价[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(5): 7−12. [Zhang Fang, Duan Hanming, Zhang Ting. The coordination development evaluation on the regional social economy-oasis ecological system of the towns in northern Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(5): 7−12.]

[6] 魏晓旭, 赵军, 魏伟, 等. 基于县域单元的中国生态经济系统协调度及空间演化[J]. 地理科学进展, 2014, 33(11): 1535−1545. [Wei Xiaoxu, Zhao Jun, Wei Wei, et al. Coordinated development of ecological-economic system and spatial evolution based on county unit in China[J]. Progress in Geography, 2014, 33(11): 1535−1545.]

[7] Cui D, Chen X, Xue Y L, et al. An integrated approach to investigate the relationship of coupling coordination between social economy and water environment on urban scale: A case study of Kunming [J]. Journal of Environmental Management, 2019, 234: 189−199.

[8] Wang Y H, Song C Q, Cheng C X, et al. Modelling and evaluating the economy-resource-ecological environment system of a third-polar city using system dynamics and ranked weights-based coupling coordination degree model[J]. Cities, 2023, 133: 104151, doi: 10.1016/j.cities.2022.104151.

[9] Li W W, Yi P T. Assessment of city sustainability: Coupling coordinated development among economy, society and environment[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 256: 120453, doi: 10.1016/j.jcepro.2020.120453.

[10] Ariken M, Zhang F, Chan N W, et al. Coupling coordination analysis and spatio-temporal heterogeneity between urbanization and eco-environment along the Silk Road Economic Belt in China[J]. Ecological Indicators, 2021, 121: 107014, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148311.

[11] 刘国锋, 琚望静, 冶建明, 等. 资源利用—生态环境—经济增长耦合协调发展分析与预测——以丝绸之路经济带沿线省份为例[J]. 生态经济, 2021, 37(11): 191−200. [Liu Guofeng, Ju Wangjing, Ye Jianming, et al. Analysis and prediction of the coupled and coordinated development of resource utilization-ecological environment-economic growth: Case study of provinces along the Silk Road Economic Belt[J]. Ecological Economy, 2021, 37(11): 191−200.]

[12] 张凯莉, 冯荣荣, 刘潭, 等. 黄河流域城市化与生态系统服务价值协调性及障碍因素研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(4): 1254−1267. [Zhang Kaili, Feng Rongrong, Liu Tan, et al. Coordination and obstacle factors of urbanization and ecosystem service value in the Yellow River Basin[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(4): 1254−1267.]

[13] 刘颖洁, 王爽. 长江经济带养老产业与旅游产业耦合协调与经济增长的关系[J]. 经济地理, 2022, 42(8): 123−131. [Liu Yingjie, Wang Shuang. Coupling and coordination between elderly care industry and tourism industry in Yangtze River Economic Zone and its relationship with economic growth[J]. Economic Geography, 2022, 42(8): 123−131.]

[14] Wu K Y, Ye X Y, Qi Z F, et al. Impacts of land use/land cover change and socioeconomic development on regional ecosystem services: The case of fast-growing Hangzhou metropolitan area, China [J]. Cities, 2013, 31: 276−284.

[15] Winter S, Bauer T, Strauss P, et al. Effects of vegetation management intensity on biodiversity and ecosystem services in vineyards: A meta-analysis[J]. Journal of Applied Ecology, 2018, 55(5): 2484−2495.

[16] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243−1254. [Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Leiming, et al. Improvement of evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1243−1254.]

[17] 魏伟, 石培基, 魏晓旭, 等. 中国陆地经济与生态环境协调发展的空间演变[J]. 生态学报, 2018, 38(8): 2636−2648. [Wei Wei, Shi Peiji, Wei Xiaoxu, et al. Evaluation of the coordinated development of economy and eco-environmental systems and spatial evolution in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(8): 2636−2648.]

[18] 吴建寨, 李波, 张新时. 生态系统服务价值变化在生态经济协调发展评价中的应用[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2554−2558. [Wu Jianzhai, Li Bo, Zhang Xinshi. Ecosystem service value and its application in evaluation of eco-economic harmonious development[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(11): 2554−2558.]

[19] 阳华, 王兆林, 孙思睿, 等. 三峡库区生态系统服务价值与经济重心演变的耦合分析[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 242−250. [Yang Hua, Wang Zhaolin, Sun Sirui, et al. Coupling analysis of ecosystem service value and economic gravity evolution in the Three Gorges Reservoir area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(6): 242−250.]

[20] 阳煜瑾, 杨帆, 徐祯妮, 等. 洞庭湖区生态服务−经济发展时空协调分析与优化[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(3): 190−200. [Yang Yujin, Yang Fang, Xu Zhenni, et al. Analysis and optimization of the spatio-temporal coordination between the ecological services and economic development in the Dongting Lake area[J]. Re-

mote Sensing for Natural Reources, 2023, 35(3): 190-200.]

[21] Chen W, Geng Y, Dong H J, et al. An emergy accounting based regional sustainability evaluation: A case of Qinghai in China[J]. Ecological Indicators, 2018, 88: 152-160.

[22] 金梦婷, 徐丽萍, 李鹏辉. 南北疆区域经济差异化三维生态足迹自然资本利用的时空演变[J]. 生态学报, 2020, 40(13): 4327-4339. [Jin Mengting, Xu Liping, Li Penghui. Spatial and temporal evolution of natural capital utilization in the three-dimensional ecological footprint under the regional economic differentiation in north and south Xinjiang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(13): 4327-4339.]

[23] 程晓瑜, 盖微微, 杨振民. 新疆南疆四地州生态服务价值约束下可持续经济规模问题研究[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(10): 228-237. [Cheng Xiaoyu, Gai Weiwei, Yang Zhengmin. Study on sustainable economic scale under the constraint of ecological service value of four prefectures in southern Xinjiang[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(10): 228-237.]

[24] 封建民, 郭玲霞, 李晓华. 汉中市土地利用时空变化及其对生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2020, 27(1): 275-282. [Feng Jianmin, Guo Lingxia, Li Xiaohua. Temporal and spatial variations of land use and their influences on ecosystem service function values in Hanzhong City[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(1): 275-282.]

[25] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919. [Xie Gaodi, Zhen Lin, Lu Chunxia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 911-919.]

[26] 刘志涛, 王少剑, 方创琳. 粤港澳大湾区生态系统服务价值的时空演化及其影响机制[J]. 地理学报, 2021, 76(11): 2797-2813. [Liu Zhitao, Wang Shaojian, Fang Chuanglin. Spatiotemporal evolution and influencing mechanism ofecosystem service value in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(11): 2797-2813.]

[27] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196. [Xie Gaodi, Lu Chunxia, Leng Yunfa, et al. Ecological assets valuation of the Tibettan Plateau[J]. Journal of Natural Resourcs, 2003, 18(2): 189-196.]

[28] Su K, Wei D Z, Lin W X. Evaluation of ecosystem services value and its implications for policy making in China: A case study of Fujian Province[J]. Ecological Indicators, 2020, 108: 105752, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105752.

[29] 刘倩, 李葛, 张超, 等. 基于系数修正的青龙县生态系统服务价值动态变化研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(6): 971-980. [Liu Qian, Li Ge, Zhang Chao, et al. Study on dynamic changes in ecosystem service values in Qinglong County based on coefficient correction[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture (Chinese and English), 2019, 27(6): 971-980.]

[30] Du H Q, Zhao L, Zhang P T, et al. Ecological compensation in the Beijing-Tianjin-Hebei region based on ecosystem services flow[J]. Journal of Environmental Management, 2023, 331, 117230, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117230.

[31] 孟宪文, 曹君, 薛占金. 黄土高原矿区生态系统服务价值的时空变化——以平朔矿区为例[J]. 干旱区地理, 2024, 47(3): 455-464. [Meng Xianwen, Cao Jun, Xue Zhanjin. Spatiotemporal changes of the ecosystem service value for mining area in Loess Plateau: A case of Pingshuo mining area[J]. Arid Land Geography, 2024, 47(3): 455-464.]

[32] Zhang K M, Wen Z G. Review and challenges of policies of environmental protection and sustainable development in China[J]. Journal of Environmental Management, 2008, 88(4): 1249-1261.

[33] 张发, 玉素甫江·如素力. 基于LUCC追踪分析的生态系统服务价值时空变化研究——以博斯腾湖流域为例[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(7): 88-99. [Zhang Fa, Rusuli Yusupujiang. Spatio-temporal variation of ecosystem service value based on LUCC trajectories: A case study of Bosten Lake Watershed[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(7): 88-99.]

[34] 马丽娜, 张飞云, 翟玉鑫, 等. 1980—2020年新疆土地利用变化下生态系统服务价值时空演变分析[J]. 干旱区地理, 2023, 46(2): 253-263. [Ma Lina, Zhang Feiyun, Zhai Yuxin, et al. Temporal and spatial evolution of ecosystem service value under land use change in Xinjiang from 1980 to 2020[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(2): 253-263.]

[35] 王希义, 徐海量, 潘存德, 等. 和田河流域土地生态系统服务价值变化及敏感性研究[J]. 水土保持研究, 2017, 24(6): 334-340. [Wang Xiyi, Xu Hailiang, Pan Cunde, et al. Study on the service value of land ecosystem and sensitivity in Hotan River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(6): 334-340.]

[36] 马依拉·热合曼, 买买提·沙吾提, 尼格拉·塔什甫拉提, 等. 基于遥感与GIS的渭库绿洲生态系统服务价值时空变化研究[J]. 生态学报, 2018, 38(16): 5938-5951. [Reheman Mayila, Shawuti Maimaiti, Tashipulati Nigela, et al. The ecosystem service value spatial-temporal changes in the Ugan-Kuqa River Delta Oasis based on RS and GIS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(16): 5938-5951.]

[37] 祖皮艳木·买买提, 玉米提·哈力克, 肉孜·阿基, 等. 基于生态系统服务价值变化的焉耆盆地环境与经济协调发展[J]. 应用生态学报, 2015, 26(3): 875-883. [Maimaiti Ziyanmu, Halike Yumiti, Aji Rouzi, et al. Ecology-economy harmonious development based on the ecological services value change in Yanqi Basin, northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(3): 875-883.]

[38] 熊传合, 杨德刚, 张新焕, 等. 新疆生态经济系统可持续发展空间格局[J]. 生态学报, 2015, 35(10): 3428-3436. [Xiong Chuanhe, Yang Degang, Zhang Xinhuan, et al. Research on the spatial patterns and economic sustainable development capacities in the Xinjiang region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(10): 3428-3436.]

Evaluation of ecological-economic harmony and sustainable development zoning in counties of southern Xinjiang

SHI Jinli[1], XU Liping[1,2], LI Xiaohang[1], GAO Zhiyu[1], XI Yunyun[1], LI Zhihui[1]

(1. College of Science, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China; 2. Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory of Oasis Town and Mountain-basin System Ecology, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

Abstract: This paper estimated the ecosystem service value (ESV) of the southern region of Xinjiang, China from 2000 to 2020 using the equivalent factor method. The ecological economic harmony model was applied to analyze the coordination level and spatial distribution characteristics of ecological economic development in the southern region of Xinjiang at the county level. Finally, the ecological contribution rate model was used to reveal the main contribution factors of ESV changes in each county and differentiate sustainable development zones on the basis of their ESV profit and loss status and ecological economic coordination level. The results showed that from 2000 to 2020, the overall ESV in the southern region of Xinjiang initially increased and then decreased, with a total reduction of 167.99×10^{8} Yuan. Grassland and water ESV accounted for over 70% of the total, with single ESV regulation services (57.1%)>support services (27.5%)>cultural services (10.0%)>supply services (5.4%). Grassland and farmland were the dominant land types for most ESV gains (losses) in counties. (2) From 2000 to 2020, the ESVs in 37 counties in southern Xinjiang decreased to varying degrees, with 9 counties achieving ESV gains. About 80% of these counties were areas with initial ecological economic deterioration, whereas the remaining counties exhibited a state of ecological economic coordination and stability. (3) The overall ecological and economic imbalance was mild in the southern region of Xinjiang, and a few counties with stable ecological and economic coordination were mainly distributed in the central and eastern regions of southern Xinjiang. Through comprehensive analysis, the counties of southern Xinjiang were divided into five types: forest and grass ecological, economic unsustainable zone; farmland ecological, economic unsustainable zone; water ecological, economic unsustainable zone; forest and grass ecological, economic sustainable, stable zone; and farmland ecological, economic sustainable, stable zone.

Key words: ecosystem service value; ecological-economic harmony; EEH model; sustainable development zoning